

## Les étoiles de type K dans un rayon de 10 parsecs : propriétés astrophysiques et température

R Galli Novembre 2025

### Introduction

Il est possible de se faciliter la tâche dans la recherche des propriétés des étoiles locales (10 pc), en demandant à une IA de faire le travail ; cependant, d'un prompt à l'autre, on peut avoir des différences minimes inexplicables dans les données fournies, voire aussi des blancs ou pas de données du tout. Une fois qu'on a compris comment l'IA procède, il vaut mieux construire « manuellement » le tableau désiré pour éviter les interpolations hasardeuses. Pour cela nous partons d'un travail d'astronomes professionnels publié en 2023 :

- ⇒ Reylé, C., Jardine, K., Fouqué, P., Caballero, J. A., Smart, R. L., & Sozzetti, A. (2023). The 10 parsec sample in the Gaia era: first update. *arXiv preprint arXiv:2302.02810*. The 21th Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun Edited by A. S. Brun, J. Bouvier, P. Petit

Ces données ont été mises à jour en 2023 à l'aide des données de Gaia DR3 et sont téléchargeables à l'adresse suivante sous la forme d'un tableau Excel : <https://gruze.org/10pc/> Ce tableau exhaustif constitue vraiment une excellente base de départ, et pour notre besoin, on y trouve 38 étoiles de type K, appartenant pour beaucoup à des systèmes multiples.

Table 3. Summary of the 10pc sample.

Type	Number
O	0
B	0
A	4
F	8
G	18
K	38
M	249
L	21
T	45
Y	19
D	20
N/A	41
Exoplanets	77
<b>Total</b>	<b>541</b>
Single	246
Binary	69
Triple <sup>(a)</sup>	19
Quadruple <sup>(a)</sup>	3
Quintuple <sup>(a)</sup>	2

Notes. In the column Type, O, B, A... Y stand for stellar and sub-stellar spectral types, D for white dwarfs, and N/A for objects without a spectral type. The Sun (G2V star) and its eight planets are not included.  
<sup>(a)</sup>The name of the triple, quadruple, and quintuple systems are given in Table 5.

Un petit travail de filtrage sur ces données permet d'obtenir beaucoup d'informations sur les étoiles de type K. Mais il manque cependant la température estimée de ces étoiles dans ce travail professionnel : il va falloir compléter ce tableau, but de cet article.

### Recherche de la température effective dans la base de données Gaia DR3

Dans la suite, nous allons rechercher les propriétés qui nous intéressent en ne conservant pour ces 38 étoiles que les informations suivantes du fichier de Reylé et al : leur identifiant (ID), leur ascension droite (RA) et leur déclinaison (DEC). On constitue un fichier simple sous forme CSV (page suivante) que l'on va ensuite insérer dans le système « Gaia archive » en tant que tableau utilisateur (il faut évidemment se créer un compte en premier lieu). <https://gea.esac.esa.int/archive/>

Cela permet alors d'utiliser cette table de base pour trouver les propriétés qui nous intéressent, à condition bien sûr qu'elles figurent dans GAIA DR3. Pour cela, on génère un **script ADQL** qui fait la recherche dans GAIA DR3. J'ai ajouté entre (\* \*) quelques commentaires.

*SELECT r.ra, r.dec, r.id, (\* r est mon tableau utilisateur, qui fournit pour chaque étoile ra,dec, id\*)*

```

g.source_id, g.parallax, g.bp_rp, (*g est la base de données principale Gaia DR3*)
g.ag_gspphot,g.ebpminrp_gspphot,g.teff_gspphot,g.teff_gspphot_lower,g.teff_gspphot_upper
FROM user_liste_k AS r (*liste_k est mon tableau de données *)
LEFT JOIN gaiadr3.gaia_source AS g
ON 1 = CONTAINS(
POINT('ICRS', r.ra, r.dec),
CIRCLE('ICRS', g.ra, g.dec, 1./3600.) ) (* je sélectionne dans Gaia les objets très proches de ra et dec*)

```

Fichier d'entrée user\_liste\_k au format CSV, repéré r dans le script.

ID,RA,DEC			
eta_Cas_B, 12.28118476, 57.81573919			
HD_88230, 152.832929, 49.4519889			
HD_217357, 345.0628353, -22.52408921			
HD_157881, 261.4358875, 2.106157763			
61_Cyg_B, 316.7536628, 38.75607277			
HD_151288, 251.2762477, 33.51092483			
ksi_Boo_B, 222.8466427, 19.10110411			
36_Oph_C, 259.0532941, -26.55114609			
61_Cyg_A, 316.7484793, 38.76386245			
eps_Ind_A, 330.8724079, -56.79725466			
GJ_667_B, 259.7512527, -34.99779509			
alf_PsA_B, 344.1019414, -31.56626896			
70_Oph_B, 271.3659116, 2.494198758			
GJ_570_A, 224.3715943, -21.4231404			
HD_50281_A, 103.0727843, -5.173728293			
HD_32147, 75.20661767, -5.758598963			
GJ_105_A, 39.02838451, 6.893339108			
HD_219134, 348.337734, 57.16966644			
GJ_667_A, 259.7512527, -34.99779509			
ksi_UMa_Bb, 169.5433801, 31.5264149			
GJ_216_B, 86.10910372, -22.42340451			
HD_4628, 12.09910708, 5.275539447			
GJ_783_A, 302.802269, -36.10821654			
GJ_66_A, 24.95065662, -56.19640007			
GJ_66_B, 24.95131742, -56.19325138			
HD_192310, 303.8286649, -27.03378081			
36_Oph_A, 258.835117, -26.60789783			
eps_Eri, 53.22829342, -9.458168216			
HD_103095, 178.2673532, 37.69282695			
12_Oph, 249.0914023, -2.325961282			
36_Oph_B, 258.8341202, -26.60680662			
alf_Cen_B, 219.8960963, -60.83752757			
GJ_166_A, 63.80795301, -7.668077815			
HD_100623_A, 173.6193151, -32.82768461			
107_Psc, 25.62258569, 20.26551918			
70_Oph_A, 271.3644538, 2.495224096			
del_Eri, 55.81166331, -9.760083664			
chi_Dra_B, 275.2720331, 72.7312778			

La requête précédente fournit les renseignements demandés, s'ils sont disponibles, uniquement à partir des paramètres ra et dec fournis. Dans cette requête, je cherche par exemple à obtenir A\_G (ag\_gspphot), un éventuel décalage vers le rouge de la lumière de chaque étoile intitulé

(ebpminrp\_gspphot), et bien sûr une estimation de la température de l'étoile (teff\_gspphot) avec des barres d'incertitudes associées. Voici le résultat de cette requête :

ra	dec	id	source_id	parallax	bp_rp	ag_gspphot	ebpminrp_g	teff_gspphot	teff_gspphot	teff_gspphot_upper
12,2811848	57,8157392	eta_Cas_B	425040000962497000	168,7185612	1,7540107					
152,832929	49,4519889	HD_88230	823773494718931000	205,314782	1,7223029	0	0	3978,864	3964,2234	3984,2412
345,062835	-22,5240892	HD_217357	2396530698208680000	121,4723614	1,7334809	0	0	3828,1167	3821,2466	3853,4016
261,435888	2,10615776	HD_157881	437523191015940000	129,645882	1,7076311					
316,753663	38,7560728	61_Cyg_B	1872046574983490000	286,0053519	1,7153406	2,00E-04	1,00E-04	3889,6328	3866,8645	3916,285
251,276248	33,5109248	HD_151288	1314438839310790000	101,5614865	1,6994839	2,00E-04	1,00E-04	3880,6682	3868,7903	3924,9849
222,846643	19,1011041	ksi_Boo_B	12370907389916390000	148,1793168	1,5178809	0	0	4244,478	4242,5444	4246,52
259,053294	-26,5511461	36_Oph_C	4109034455276320000	167,9616795	1,4148359	0	0	4381,2256	4380,1553	4387,8496
316,748479	38,7638625	61_Cyg_A	1872046609345550000	285,9949483	1,4625897	0	0	4353,7437	4349,8877	4367,35
330,872408	-56,7972547	eps_Ind_A	641259529059230000	274,8431415	1,2974195	0	0	4560,303	4539,915	4569,0063
259,751253	-34,9977951	GJ_667_B	5975663354131610000	138,0662741	2,2938309	2,00E-04	1,00E-04	3313,4404	3311,033	3349,5007
344,101941	-31,566269	alf_PsA_B	6604147121141260000	131,5525092	1,3403125	0	0	4463,109	4457,5234	4468,4214
271,365912	2,49419876	70_Oph_B	4468557611977670000	195,8563315	1,4856548					
224,371594	-21,4231404	GJ_570_A	6232511606038400000	169,8842703	1,3236036	0	0	4503,0303	4499,257	4504,588
103,072784	-5,17372829	HD_50281_A	3101923001490340000	114,3547222	1,2769122	0	0	4572,622	4569,7812	4574,209
75,2066177	-5,75859896	HD_32147	3211461649444770000	133,0714591	1,2498474	0	0	4626,91	4611,6064	4634,463
39,0283845	6,89333911	GJ_105_A	193162245724604000	138,3400038	1,1986432					
348,337734	57,1696664	HD_219134	2009481748875800000	152,8640039	1,2163415					
259,751253	-34,9977951	GJ_667_A	5975663354131610000	138,0662741	2,2938309	2,00E-04	1,00E-04	3313,4404	3311,033	3349,5007
169,54338	31,5264149	ksi_UMa_Bb	756853643637996000		0,84957457					
86,1091037	-22,4234045	GJ_216_B	2964001014514070000	112,466065	1,1573954	0	0	4794,6724	4793,796	4795,489
12,0991071	5,27553945	HD_4628	2552925644460220000	134,4948477	1,1095943	0	0	4859,2896	4858,631	4859,9487
302,802269	-36,1082165	GJ_783_A	6697578465310940000	166,3272043	1,101397					
24,9506566	-56,1964001	GJ_66_A	4911306239828320000	122,0034724	1,0941982	0	0	4902,265	4899,9053	4903,837
24,9513174	-56,1932514	GJ_66_B	4911306239828320000	122,1088126	1,0707846	0	0	5044,24	5041,956	5048,7476
303,828665	-27,0337808	HD_192310	6847167606385190000	113,4871799	1,0801368	0	0	4978,235	4977,068	4979,38
258,835117	-26,6078978	36_Oph_A	4109030160308310000	168,1302779	1,0597496	0	0	4997,0127	4995,8306	4998,8647
53,2282934	-9,45816822	eps_Eri	5164707970261890000	310,5772928	1,1402977	0	0	5002,0435	4997,3774	5007,1123
178,267353	37,692827	HD_103095	4034171629042480000	109,02964	1,0016494	0	0	5043,2183	5042,1274	5044,359
249,091402	-2,32596128	12_Oph	4358031335898500000	101,0718881	1,0146093	0	0	5106,7	5105,346	5107,8555
258,83412	-26,6068066	36_Oph_B	4109030160308320000	168,0030789	1,0583043	0	0	4991,236	4988,844	4993,6504
219,896096	-60,8375276	alf_Cen_B								
63,807953	-7,66807782	GJ_166_A	3195919528989220000	199,6080124	1,0412455					
173,619315	-32,8276846	HD_100623_A	3478127463341500000	104,6132883	1,0040288	1,00E-04	0	5225,1025	5211,9385	5232,7554
25,6225857	20,2655192	107_Psc	96331172942614500	130,8233691	1,0224853	0	0	5092,744	5091,184	5094,2344
271,364454	2,4952241	70_Oph_A	4468557611984380000	195,5673546	1,0036926	0	0	5204,636	5202,6562	5207,388
55,8116633	-9,76008366	del_Eri	516412076233020000	110,0253908	1,1661985					
275,272033	72,7312778	chi_Dra_B	2266693630693930000		0,8391286					

S'il y a des blancs (NaN), c'est simplement que l'information n'est pas disponible dans GAIA DR3 !

ID	BP-RP	AG	Teff	Pourquoi GAIA ne fournit rien ?
eta_Cas_B	1.754	NaN	NaN	composante B → trop serrée / mal séparée
HD_157881	1.708	NaN	NaN	étoile active → pipeline GSP-Phot ne prend pas en compte
70_Oph_B	1.48	NaN	NaN	binnaire serrée
GJ_105_A	1.20	NaN	NaN	trop brillante
HD_219134	1.22	NaN	NaN	solutions spectro complexes
ksi_UMa_Bb	NaN	NaN	NaN	composante faible / double
GJ_783_A	1.10	NaN	NaN	voisinage trop proche → pas de AG
alf_Cen_B	NaN	NaN	NaN	Saturée → pas de données
GJ_166_A	1.04	NaN	NaN	Il manque GSP-Phot
del_Eri	1.17	NaN	NaN	trop brillante
chi_Dra_B	NaN	NaN	NaN	composant B difficile

Il faut alors reconstituer les données manquantes en s'appuyant sur plusieurs sources : le tableau initial de Reylé, (évidemment après avoir vérifié la cohérence des deux tableaux) ; puis la base de données Simbad, qu'il faut interroger objet par objet.

Mais attention, Simbad ne fournira que des informations sur le type spectral, certains paramètres de photométrie, la température effective, le tout sur la base de publications scientifiques. En effet, Simbad ne reprend pas les données de Gaia.

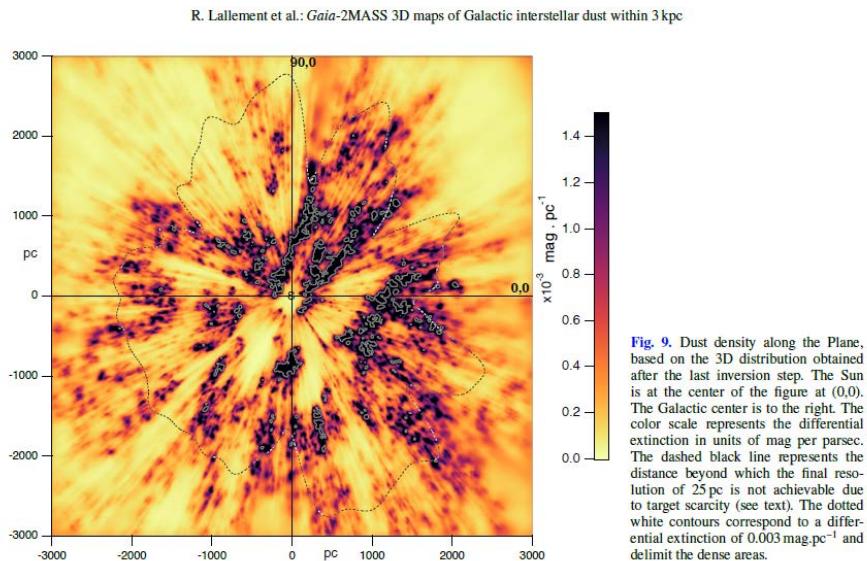
### La reconstruction des valeurs de température manquantes

#### a) Le cas des valeurs A\_G

Toutes les valeurs A\_G données par Gaia sont quasi nulles dans un rayon de 10 pc. Comment obtenir celles qui manquent ? En réalité, d'après différents modèles d'extinction 3D, l'extinction locale dans une région de 10 pc est très proche de 0 pour **TOUTES** les étoiles.

- ⇒ Lallement, R., Babusiaux, C., Vergely, J. L., Katz, D., Arenou, F., Valette, B., ... & Capitanio, L. (2019). Gaia-2MASS 3D maps of Galactic interstellar dust within 3 kpc. *Astronomy & Astrophysics*, 625, A135.

La figure suivante extraite de la précédente référence est à une échelle démesurée (3000 pc) par rapport à ce qui nous intéresse (10 pc). Mais on voit bien que l'extinction au centre (en jaune clair) est quasi nulle. Cela provient du fait que nous vivons dans une bulle locale quasiment vide de matière interstellaire (voir Annexe 1 sur ce sujet).



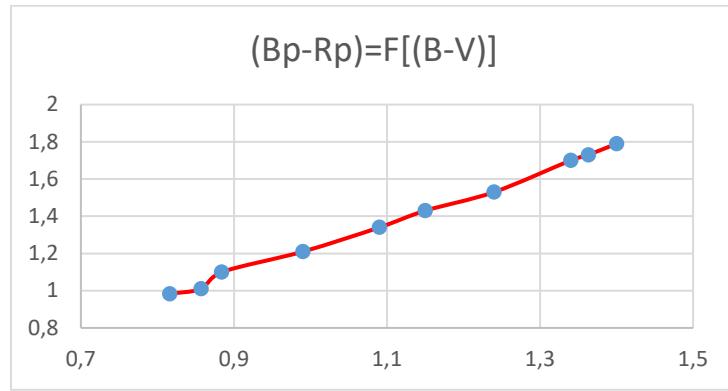
On complètera donc le tableau des A\_G en y insérant des valeurs nulles.

#### b) Les valeurs BP-RP manquantes

Nous n'avons qu'un seul cas de valeur (BP-RP) réellement manquante, celui de Alf\_Cent\_B. Le tableau de Reylé donne la valeur (B-V) = 0.88, ce qu'on peut vérifier sur Simbad. On peut alors utiliser la table dite de Mamajek :

- ⇒ Pecaut, M. J., & Mamajek, E. E. (2013). Intrinsic colors, temperatures, and bolometric corrections of pre-main-sequence stars. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 208(1), 9.

Grâce à cette table, on peut passer de l'indice photométrique (B-V) à l'indice (BP-RP) ; par exemple, ici, on en déduit ici que pour (B-V) = 0.88, alors (BP-RP) = 1.1 à quelques % près.



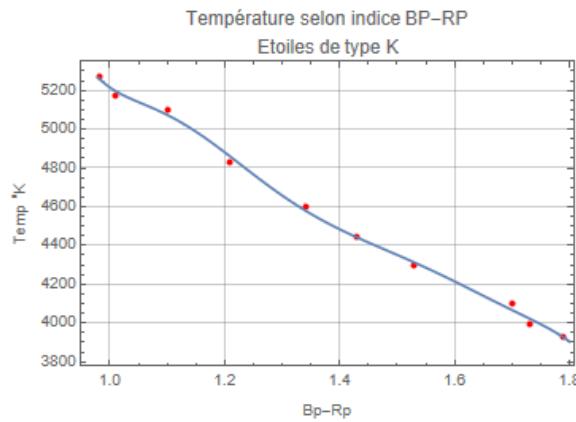
Il faudra aussi examiner avec Simbad le cas de 2 composantes B pour lesquelles les valeurs de l'indice (BP-RP) ne semblent pas correctes. Il s'agit de ksi\_Uma\_Bb et chi\_Dra\_B avec des valeurs de Bp-Rp de 0.85 qui ne correspondent pas a priori à des étoiles de type K. De même, les binaires GJ\_667 A et B semblent être des étoiles de type M, ce que nous vérifierons également.

### c) Le cas du rougissement ebpminrp\_gspphot

Ici aussi, on note que les valeurs fournies par Gaia sont quasi nulles. Cela est parfaitement logique et corrélé avec le fait que l'extinction A\_G (mag) est quasi nulle elle-aussi dans un rayon de 10 pc.

Ce point est intéressant, car cela signifie que le paramètre (BP-RP) mesuré est en réalité avec une excellente approximation (BP-RP) \_0, c'est-à-dire le paramètre intrinsèque caractérisant la lumière d'une étoile, sans aucune atténuation d'aucune sorte.

Cette absence de rougissement permet alors d'utiliser directement la table de Mamajek pour passer de (BP-RP) à la température effective moyenne de l'étoile. Un ajustement avec Mathematica permet de faire ceci avec une barre d'incertitude de l'ordre de +/- 25 °K par rapport à la table de Mamajek :



### d) Nettoyage du tableau à l'aide de Simbad

Nous avons vu que certaines valeurs de (BD-RP) sont suspectes. Voyons ce qu'il en est avec Simbad.

GJ\_667 A et B : c'est un système binaire, et les deux étoiles sont cataloguées comme K3 et K4. Les mesures (B-V) donnent respectivement 1.15 et 1.44, ce qui conduirait à (BP-RP) de 1.43 et 1.97. Dans ces conditions, GJ\_667\_A serait une K5 et GJ\_667\_B plutôt une M0.5V. On conservera ces deux valeurs de (BP-RP) dans notre tableau dans un premier temps.

Ksi\_UMa\_Bb est une naine brune totalement hors sujet, liée à Ksi\_UMa\_A de type F8, bien plus lumineuse que le Soleil.

Alf\_Cen\_B est une étoile de type K1/K2, liée à alf\_Cen\_A de type G2V comme le Soleil.

Chi\_Dra\_\_B est une étoile de type K0 liée à Chi\_Dra\_A de type F7V bien plus lumineuse que le Soleil.

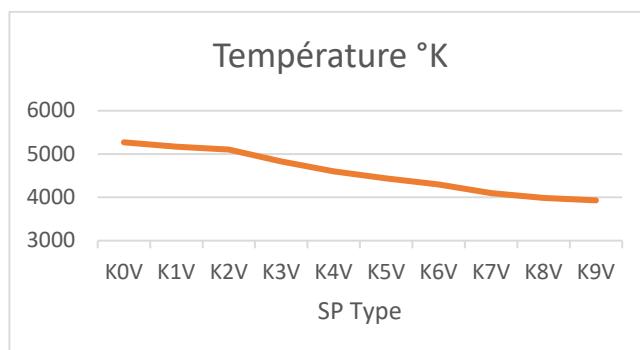
Pour ces trois derniers cas, on note qu'il s'agit de systèmes multiples, et que l'étoile principale A est beaucoup plus lumineuse, bien plus que l'étoile B de type K qui constitue sa compagne. Comme ce n'est pas ce que nous cherchons, nous ne considérerons plus ces systèmes dans la suite. Un examen supplémentaire du tableau montre que Alf\_Psa\_B est associé à Alf\_PsA\_A, étoile de type A4 très brillante.

#### e) L'obtention de la température effective pour les « blancs »

On va utiliser directement (BP-RP) « nettoyé » pour en déduire les températures effectives manquantes à partir des tables de Mamajek en utilisant l'ajustement précédent.

ID	BP-RP	Teff (°K)	Type spectral Mamajek	Type spectral Reylé
eta_Cas_B	1.754	3990	K8	K7e
HD_157881	1.708	4055	Entre K8 et K7	K7
70_Oph_B	1.48	4375	Entre K6 et K5	K4
GJ_105_A	1.20	4880	K3 à K2	K3
HD_219134	1.22	4835	K3	K3
GJ_783_A	1.10	5075	K2	K2.5
GJ_166_A	1.04	5150	K1	K0.5
del_Eri	1.17	4945	Entre K3 et K2	K0

On retrouve globalement les types spectraux de Reylé sachant qu'il s'agit d'un découpage en 10 classes spectrales (K0 à K9) couvrant une température de l'ordre de 1300 °K :



### f) Résultat final

Le tableau simplifié suivant fournit la température effective des étoiles retenues, sachant que GJ\_667\_B est une étoile de type M0 à la limite des étoiles de type K. **Les valeurs en rouge** sont celles reconstituées « à la main » à partir de la table de Mamajek. **Les valeurs de température en noir proviennent directement de GAIA DR3.** Un tri est effectué par températures effectives croissantes. J'ai conservé les types spectraux de Reylé sauf pour GJ\_667\_B.

TEFF °K	OBJ_NAME	SP_TYPE
<b>3770</b>	GJ 667 B	<b>M0.V</b>
3828	HD 217357	<b>K7</b>
3881	HD 151288	<b>K5</b>
3890	61 Cyg B	<b>K7</b>
3979	HD 88230	<b>K7.5e</b>
<b>3990</b>	eta Cas B	<b>K7e</b>
<b>4055</b>	HD 157881	<b>K7</b>
4244	ksi Boo B	<b>K5</b>
4354	61 Cyg A	<b>K5</b>
<b>4375</b>	70 Oph B	<b>K4</b>
4381	36 Oph C	<b>K5</b>
<b>4440</b>	GJ 667 A	<b>K3</b>
4463	alf PsA B	<b>K4</b>
4503	GJ 570 A	<b>K4</b>
4560	eps Ind A	<b>K5</b>
4573	HD 50281 A	<b>K3.5</b>
4627	HD 32147	<b>K3</b>
4795	GJ 216 B	<b>K2.5</b>
<b>4835</b>	HD 219134	<b>K3</b>
4859	HD 4628	<b>K2.5</b>
<b>4880</b>	GJ 105 A	<b>K3</b>
4902	GJ 66 A	<b>K2</b>
<b>4945</b>	del Eri	<b>K0</b>
4978	HD 192310	<b>K2</b>
4991	36 Oph B	<b>K1</b>
4997	36 Oph A	<b>K2</b>
5002	eps Eri	<b>K2</b>
5043	HD 103095	<b>K1</b>
5044	GJ 66 B	<b>K2</b>
<b>5075</b>	GJ 783 A	<b>K2.5</b>
5093	107 Psc	<b>K0</b>
5107	12 Oph	<b>K1</b>
<b>5150</b>	GJ 166 A	<b>K0.5</b>
5205	70 Oph A	<b>K0</b>
5225	HD 100623 A	<b>K0</b>

### g) Commentaires sur la reconstruction des températures manquantes

Cette recherche a mis en évidence plusieurs points intéressants :

- Nous vivons dans une zone vide poussières interstellaires susceptibles d'occulter la lumière d'une étoile proche (valeurs A\_G nulles, pas de rougissement).

- L'étude de Reylé et al de 2023 fournit de manière exhaustive toutes les étoiles de type A à M dans un rayon de 10 parsecs. Les naines brunes ne sont peut-être pas encore toutes découvertes.
- Concernant les étoiles de type K, nous avons exclu du tableau les étoiles compagnes d'une étoile identifiée comme bien plus lumineuse.
- Le tableau final fournit les températures effectives des 34 étoiles d'intérêt si on élimine la compagne de type M0 de GJ 667 A.
- La précision sur les températures effectives donnée par Gaia semble très élevée (voire `teff_gspphot_lower` et `upper`). Cependant, le croisement avec les tables de Mamajek montre qu'il existe des écarts résiduels importants, parfois de plus de 100 °K.

#### **Conclusion : application à la recherche d'une étoile de température donnée.**

Si on recherche une étoile de température donnée, par exemple 4580 °K, il faut prendre en compte des barres d'incertitudes que je choisis à +/- 100 °K, soit une fourchette de {4480 à 4680 °K}.

Si on examine le tableau final, on se rend compte que 4 étoiles correspondent à ce profil, et que toutes ont des températures déterminées par Gaia DR3, ce qui conforte le résultat.

Les types spectraux proviennent de Reylé et al. J'ai ajouté la constellation où chacune est située, leur dénomination selon le catalogue Gliese et leur magnitude absolue non vérifiée (origine Wikipedia).

TEFF °K	OBJ_NAME	SP_TYPE	Constellation	Gliese	Mag Abs
4503	GJ 570 A	K4	Balance	GJ 570 A	6.8
4560	eps Ind A	K5	Indien	GJ 845 A	6.9
4573	HD 50281 A	K3.5	Licorne	GJ 250 A	6.9
4627	HD 32147	K3	Eridan	GJ 183	6.5

3 étoiles appartiennent à un système multiple et en sont l'étoile principale (indice \_A).

Gliese 570 ou HR 5568 est un système quadruple situé à environ 19 années-lumière de la Terre dans la constellation de la Balance.

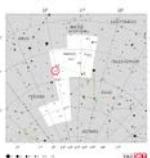
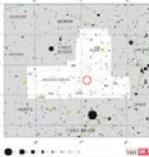
Epsilon Indi est un système quadruple situé à 11,8 années-lumière du système solaire, ce qui en fait un des systèmes les plus proches que l'on connaisse. Il est situé dans la constellation de l'Indien.

Gliese 250, également désignée HD 50281, est une étoile binaire située à 28,5 années-lumière de la Terre dans la constellation de la Licorne.

HR 1614 (284 G. Eridani, GJ 183, HD 32147) est une étoile seule située à 28,8 années-lumière du système solaire dans la constellation d'Eridan.

Remarque : attention aux données de Wikipedia qui ne sont pas forcément à jour, ce qu'on note en examinant par exemple les températures et si on se réfère à GAIA DR3.

## 4 fiches utiles pour avoir une vue rapide de la carte d'identité de chaque étoile

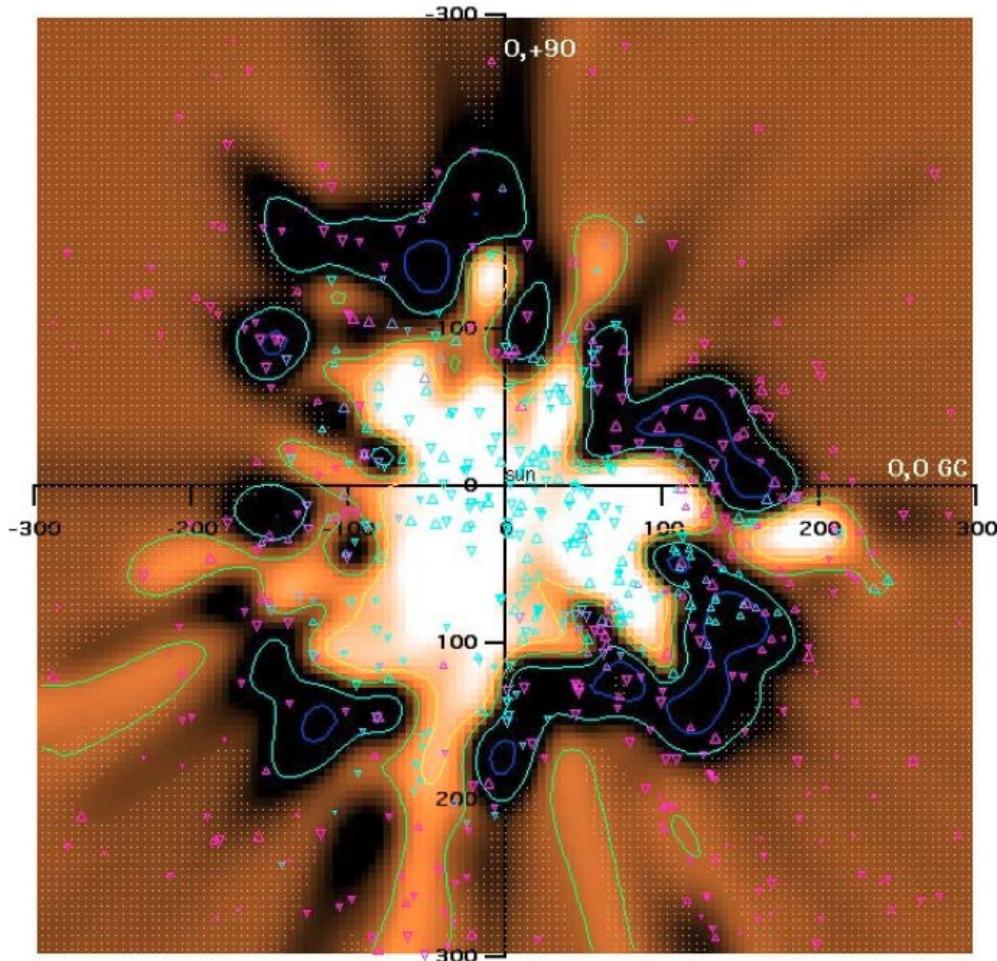
HR 5568 Gliese 570		Epsilon Indi		Gliese 250		HR 1614 <sup>[1]</sup>	
Données d'observation (époque J2000.0)		Données d'observation (époque J2000.0)		Données d'observation (époque J2000.0)		Observation data	
Ascension droite 14 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup> 28,0 <sup>s</sup>		Ascension droite 22 <sup>h</sup> 03 <sup>m</sup> 21,65363 <sup>s</sup>		Ascension droite 06 <sup>h</sup> 52 <sup>m</sup> 18,05045 <sup>s</sup>		Epoch J2000 Equinox J2000	
Déclinaison -21 <sup>°</sup> 24' 55"		Déclinaison -56 <sup>°</sup> 47' 09,5228 <sup>°</sup>		Déclinaison -05 <sup>°</sup> 10' 25,3656 <sup>°</sup>		Constellation Eridanus	
Constellation Balance		Constellation Indien		Constellation Licorne		Right ascension 05 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> 48,9993 <sup>s</sup>	
Magnitude apparente 5,64 / ? / 9,90		Magnitude apparente +4,69 <sup>2</sup>		Magnitude apparente 6,59 <sup>3</sup> / 10,05 <sup>3</sup>		Declination -05 <sup>°</sup> 45' 13,224 <sup>°</sup>	
Localisation dans la constellation : Balance		Localisation dans la constellation : Indien		Localisation dans la constellation : Licorne		Apparent magnitude (V) 6,208 <sup>[3]</sup>	
						Characteristics	
Caractéristiques		Caractéristiques		Caractéristiques		Spectral type K3 V <sup>[3]</sup>	
Type spectral K4V / M1V / M3V / T7V		Stade évolué II séquence principale		U-B color index +1,00 <sup>[4]</sup>		U-B color index +1,00 <sup>[4]</sup>	
Indice U-B 1,06 / 1,22		Indice U-B +0,99 <sup>2</sup>		B-V color index +1,05 <sup>[4]</sup>		B-V color index +1,05 <sup>[4]</sup>	
Indice B-V 1,11 / 1,51		Indice B-V +1,09 <sup>2</sup>		Astrométrie		Astrometry	
Variabilité Aucune		Indice R-I +0,58 <sup>2</sup>		Radial velocity (R <sub>v</sub> ) +210 <sup>[5]</sup> km/s		Radial velocity (R <sub>v</sub> ) +210 <sup>[5]</sup> km/s	
Astrométrie		Variabilité aucune		Proper motion (μ) RA: 549,309(21) mas/yr <sup>[2]</sup> Dec: -1,106,245(16) mas/yr <sup>[2]</sup>		Proper motion (μ) RA: 549,309(21) mas/yr <sup>[2]</sup> Dec: -1,106,245(16) mas/yr <sup>[2]</sup>	
Vitesse radiale 27,5 km/s		Vitesse radiale -40,935 km/s <sup>4</sup>		Parallaxe 113,0715 ± 0,0222 mas <sup>[2]</sup>		Parallaxe (π) 113,0715 ± 0,0222 mas <sup>[2]</sup>	
Mouvement propre $\mu_{\alpha} = 1,034,18$ mas/a $\mu_{\delta} = -1,725,60$ mas/a		Mouvement propre $\mu_{\alpha} = +3,966,661$ mas/a <sup>1</sup> $\mu_{\delta} = -2,938,192$ mas/a <sup>1</sup>		Distance 28,845 ± 0,006 ly (8,844 ± 0,002 pc)		Distance 28,845 ± 0,006 ly (8,844 ± 0,002 pc)	
Parallaxe 169,85 ± 0,82 mas		Parallaxe 274,843 ± 0,095 6 mas <sup>1</sup>		Absolute magnitude (M <sub>V</sub> ) 6,51 <sup>[6]</sup>		Absolute magnitude (M <sub>V</sub> ) 6,51 <sup>[6]</sup>	
Distance 19,2 ± 0,09 pc (5,89 ± 0,03 pc)		Distance 3,638 ± 0,0012 pc (~11,9 a) <sup>1</sup>		Details		Details	
Magnitude absolue 6,79 / ? / 11,05		Magnitude absolue -6,99 <sup>3</sup>		Mass 0,838 ± 0,034 <sup>[7]</sup> M <sub>⊙</sub>		Mass 0,838 ± 0,034 <sup>[7]</sup> M <sub>⊙</sub>	
Caractéristiques physiques		Caractéristiques physiques		Radius 0,78 ± 0,02 <sup>[7]</sup> R <sub>⊙</sub>		Radius 0,78 ± 0,02 <sup>[7]</sup> R <sub>⊙</sub>	
Masse 0,76 / 0,55 / 0,35 / 0,05 M <sub>⊙</sub>		Masse 0,77 M <sub>⊙</sub>		Surface gravity (log g) 4,55 <sup>[3]</sup> cgs		Surface gravity (log g) 4,55 <sup>[3]</sup> cgs	
Rayon 0,77 / 0,65 R <sub>⊙</sub>		Rayon 0,76 R <sub>⊙</sub>		Temperature 9,445 ± 8,7 <sup>[8]</sup> K		Temperature 9,445 ± 8,7 <sup>[8]</sup> K	
Luminosité 0,16 / 0,02 / 0,003 / 3-10-6 L <sub>⊙</sub>		Luminosité 0,15 L <sub>⊙</sub>		Metallicity [Fe/H] 0,28 <sup>[3]</sup> dex		Metallicity [Fe/H] 0,28 <sup>[3]</sup> dex	
Température 4 170 / 2 700 K		Température 4 130 K		Rotation 48,0 <sup>[9]</sup> days		Rotation 48,0 <sup>[9]</sup> days	
Rotation 48,3 jours		Âge 1,3 ± 10 <sup>8</sup> a		Rotational velocity 4,1 <sup>[10]</sup> km/s		(V sin i)	
Caractéristiques physiques		Composants stellaires		Age 2 <sup>[11]</sup> or 4,5 <sup>[12]</sup> Gyr		(V sin i) 2 <sup>[11]</sup> or 4,5 <sup>[12]</sup> Gyr	
Composants stellaires Epsilon Indi Aa (étoile)		Composants stellaires Epsilon Indi Ba et Bb (naines brunes)		Other designations		Other designations	
Luminosité 0,16 / 0,02 / 0,003 / 3-10-6 L <sub>⊙</sub>		Luminosité 0,15 L <sub>⊙</sub>		284 G. Eridani, GJ 183, BD -05°1123, HD 32147, LHS 200, LTT 2142, GCTP 1129.00, SAO 131688, LPM 200, HIP 23311. <sup>[1]</sup>		284 G. Eridani, GJ 183, BD -05°1123, HD 32147, LHS 200, LTT 2142, GCTP 1129.00, SAO 131688, LPM 200, HIP 23311. <sup>[1]</sup>	
Planètes Epsilon Indi Ab		Caractéristiques physiques		Database references		Database references	
Caractéristiques physiques		Masse 0,88 M <sub>⊕</sub>		SIMBAD data <sup>[13]</sup>		SIMBAD data <sup>[13]</sup>	
Rayon 0,73 R <sub>⊕</sub> $\odot$ / 0,10 R <sub>⊕</sub>		Rayon 0,225 L <sub>⊕</sub> $\odot$ / 0,000 58 L <sub>⊕</sub>		ARICNS data <sup>[14]</sup>		ARICNS data <sup>[14]</sup>	
Luminosité 0,225 L <sub>⊕</sub> $\odot$ / 0,000 58 L <sub>⊕</sub>		Température 4 400 K / 2 900 K					

## **ANNEXE 1 La bulle locale et la possibilité de nuages occultant très localisés**

### **1) La bulle locale**

Il existe une bulle quasiment vide de matière et de gaz autour du système solaire dans un rayon de l'ordre de l'ordre de 45 parsecs comme le montre la figure ci-dessous datant de 2010 extraite de :

- ⇒ Welsh, B. Y., Lallement, R., Vergely, J. L., & Raimond, S. (2010). New 3D gas density maps of NaI and CaII interstellar absorption within 300 pc. *Astronomy & Astrophysics*, 510, A54.



**Fig. 12.** Plot of 3D spatial distribution of interstellar NaI absorption within 300 pc of the Sun as viewed in the galactic plane projection. Triangles represent the sight-line positions of stars used to produce the map, with the size of the triangle being proportional to the derived NaI column density. Stars plotted with vertex upwards are located above the galactic plane, vertex down are below the plane. White to dark shading represents low to high values of the NaI volume density ( $n_{\text{NaI}}$ ). The corresponding iso-contours (yellow, green, turquoise and blue) for  $\log n_{\text{NaI}} = -9.5, -9.1, -8.5$  and  $-7.8 \text{ cm}^{-3}$  are also shown. Regions with a matrix of dots represent areas of uncertain neutral gas density measurement.

Un autre article plus récent de 2022 explique ce qui s'est passé pour avoir un tel vide dans cette région.

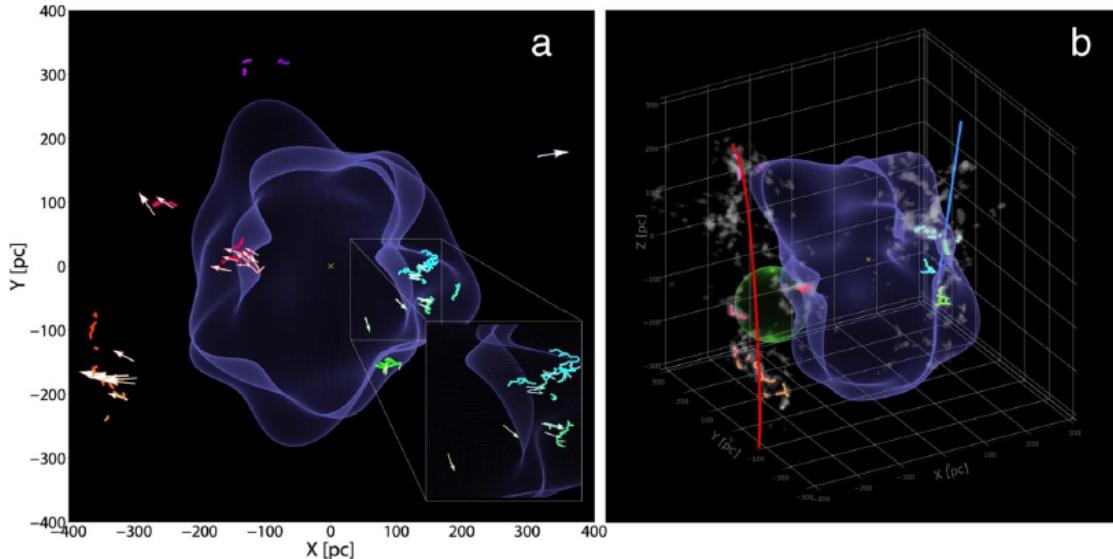
- ⇒ Zucker, C., Goodman, A. A., Alves, J., Bialy, S., Foley, M., Speagle, J. S., ... & Swiggum, C. (2022). Star formation near the Sun is driven by expansion of the Local Bubble. *Nature*, 601(7893), 334-337.

Cette bulle locale est une cavité de plasma chaud et peu dense qui entoure le système solaire, s'étendant sur environ 90 parsecs de diamètre. Elle a été formée principalement par une série

d'explosions de Supernovae il y a environ 14 à 16 millions d'années, impliquant entre 8 et 26 Supernovae dans le voisinage stellaire proche. Ces explosions ont balayé le gaz et la poussière environnantes, créant une bulle de plasma chaud et dilué, entourée d'une coquille de gaz neutre froid et de poussière. L'expansion actuelle de la bulle est estimée à environ 6-7 km/s.

La surface de la bulle locale est un lieu privilégié de formation d'étoiles, car l'accumulation de gaz et de poussière à la frontière de la bulle crée des conditions favorables à la naissance stellaire.

⇒ C'est ce que montrent les deux figures ci-dessous provenant de la référence Zucker et al (2022).



**Figure 1 (Interactive):** A 3D spatial view of the solar neighborhood. For the best experience, please view the online 3D interactive version available [here](#). Panel a: A top-down projection of star-forming regions on the surface of the Local Bubble, whose young stars show motion mainly perpendicular to its surface. The surface of the Local Bubble<sup>13</sup> is shown in purple. The short squiggly colored lines (a.k.a. “skeletons”) demarcate the 3D spatial morphology of dense gas in prominent nearby molecular clouds<sup>11</sup>. The 3D arrows indicate the positions of young stellar clusters, with the apex of the arrow’s cone pointing in the direction of stellar motion. Clusters are color-coded by longitude, as in Extended Data Table 1. The Sun is marked with a yellow cross. The zoom-in to the lower right shows a close-up of Ophiuchus, Pipe, Lupus, and Corona Australis on the Bubble’s surface, along with arrows illustrating the outward motion of their young stellar clusters. Panel b: A 3D view of the relationship between the Local Bubble, prominent nearby star-forming regions, and Galactic structure. The Local Bubble and cloud skeletons are the same as in Panel a. We also overlay the morphology of the 3D dust (gray blobby shapes<sup>9</sup>) and the models for two Galactic scale features — the Radcliffe Wave (red)<sup>16</sup> and the Split (blue)<sup>10</sup>. The Per-Tau Superbubble<sup>15</sup> (green sphere) is also overlaid. The interactive version offers views from any direction (not just top-down), provides floating labels for star-forming regions, and includes additional layers (some not shown in this snapshot) which can be toggled on/off.

Le Soleil n'a pénétré dans la bulle locale qu'il y a environ 5 millions d'années.

Tout le gaz et les poussières ayant été soufflés sur les bords de cette bulle géante, la zone interne est presque transparente optiquement : autrement dit, il n'y a quasi aucune atténuation optique tant que l'on reste à l'intérieur de la bulle, comme on le verra clairement dans la suite.

Les propriétés physiques à l'intérieur de la bulle locale sont les suivantes :

- Le gaz est principalement ionisé, avec une température élevée, typiquement comprise entre 6 000 K et 7 000 K pour le nuage interstellaire local (le LIC Local Interstellar Cloud).
- La densité du gaz dans la bulle locale est très faible, de l'ordre de 0,01 à 0,1 particule par  $\text{cm}^3$ , contre environ 1 particule par  $\text{cm}^3$  dans le milieu interstellaire typique.
- La poussière est présente principalement dans la coquille externe, où elle se trouve associée au gaz neutre froid.
- La composition chimique est dominée par l'hydrogène et l'hélium, avec des traces d'éléments plus lourds issus des Supernovae.

Ces dernières données sont évidemment fondamentales, car cela signifie qu'au sein de cette bulle locale, le milieu interstellaire est transparent : c'est ce qui permet de recenser exhaustivement les étoiles dans un rayon de 10 parsecs. Les références suivantes effectuent ce recensement en 2021 et le complètent en 2023.

- ⇒ Reylé, C., Jardine, K., Fouqué, P., Caballero, J. A., Smart, R. L., & Sozzetti, A. (2021). The 10 parsec sample in the Gaia era. *Astronomy & Astrophysics*, 650, A201.
- ⇒ Reylé, C., Jardine, K., Fouqué, P., Caballero, J. A., Smart, R. L., & Sozzetti, A. (2023). The 10 parsec sample in the Gaia era: first update. *arXiv preprint arXiv:2302.02810*. The 21th Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun Edited by A. S. Brun, J. Bouvier, P. Petit.

La question qui se pose ensuite naturellement est la suivante : le milieu interstellaire est quasi transparent autour de nous, mais ne pourrait-on pas y trouver très localement des nuages de gaz ou de poussières occultant malgré tout la lumière de certaines étoiles ?

## 2) La possibilité de nuages occultant très localisés.

Un nuage occultant est une structure de gaz et de poussière qui atténue fortement voire qui bloque totalement la lumière des étoiles situées derrière elle, c'est-à-dire selon notre propre ligne de visée.

Il existe différents types de nuage occultant dont les propriétés sont les suivantes :

Structure	Taille	Densité	A_G possible	Présence dans 10 pc
<b>Globule de Bok</b>	0,1–1 pc	$10^4$ – $10^6 \text{ cm}^{-3}$	>5–50 mag	Non ( $\geq 94 \text{ pc}$ )
<b>Nuage moléculaire</b>	10–100 pc	100–1000	1–10 mag	Non
<b>Filament HI froid</b>	0,1–1 pc	$10^2$ – $10^3$	0,1–1 mag	Non ( $\geq 15 \text{ pc}$ )
<b>Local Interstellar Cloud (LIC)</b>	$\sim 10 \text{ pc}$	<b><math>0,1</math>–<math>0,3 \text{ cm}^{-3}</math></b>	<0,03 mag	Oui

- ⇒ Les globules de Bok se voient comme le nez au milieu de la figure tellement ils ont une forte atténuation optique : mais les premiers se situent au-delà de 90 pc.
- ⇒ Les nuages moléculaires, dont la température est inférieure à 100 °K, ont une densité importante de l'ordre de 100 à 1000  $\text{cm}^{-3}$  et permettraient d'induire une occultation notable : mais leurs caractéristiques physiques sont incompatibles des propriétés de

notre nuage local (le LIC), à la fois en température (7000 °K pour le LIC) et en densité (0.01 à 0.1 cm<sup>-3</sup>). On trouve ce type de nuages sur les parois de la bulle locale.

- ⇒ Les filaments froids, leur atténuation maximale étant estimée localement à 0.1 mag.

Pour les propriétés du LIC, on peut consulter :

- ⇒ Redfield, S., & Linsky, J. L. (2000). The Three-dimensional Structure of the WarmLocal Interstellar Medium. II. The Colorado Model of the Local Interstellar Cloud. *The Astrophysical Journal*, 534(2), 825.

#### REFFIELD & LINSKY

TABLE 5  
PHYSICAL AND MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF THE LIC

Property	Value	Reference
Temperature .....	$7000 \pm 1000$ K	1
Neutral hydrogen density ( $n_{\text{H}_1}$ ) .....	$0.10 \text{ cm}^{-3}$	2
Electron density ( $n_e$ ) .....	$0.11^{+0.12}_{-0.06} \text{ cm}^{-3}$	3
Hydrogen ionization [ $X(\text{H}) = n_p/(n_{\text{H}_1} + n_p)$ ] .....	$0.52 \pm 0.18$	4
Gas pressure ( $P/k$ ) .....	$1620^{+1280}_{-630} \text{ cm}^{-3} \text{ K}$	4
log (depletion of Mg), $D(\text{Mg})$ .....	$-1.1 \pm 0.2$	1
log (depletion of Fe), $D(\text{Fe})$ .....	-1.27	5
log (depletion of O), $D(\text{O})$ .....	-0.25	5
Maximum dimension .....	6.8 pc	6
Minimum dimension .....	4.7 pc	6
Maximum $N_{\text{H}_1}$ .....	$2.1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$	6
Minimum $N_{\text{H}_1}$ .....	$1.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-2}$	6

REFERENCES.—(1) Piskunov et al. 1997; (2) Paper I; (3) Wood & Linsky 1997; (4) computed; (5) Linsky et al. 1995; (6) this paper.

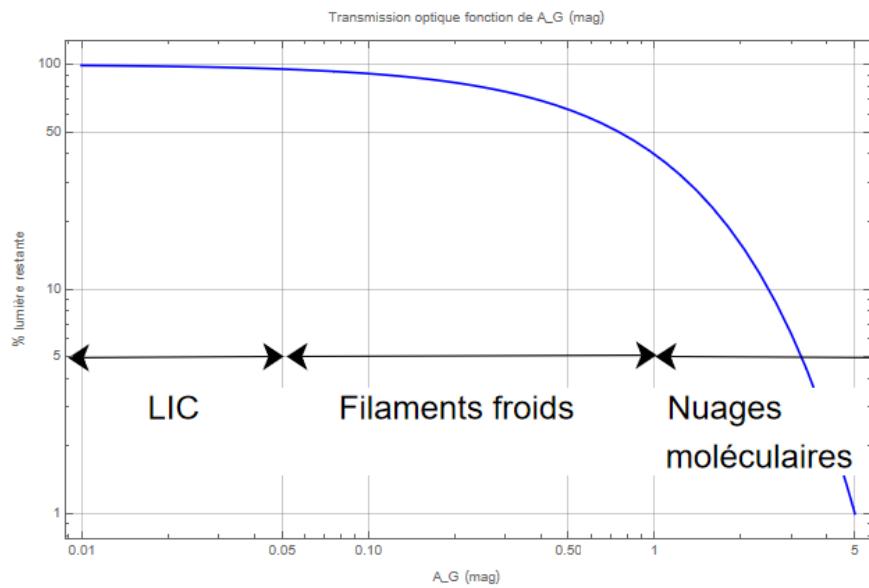
Quelques rappels Les mesures d'atténuation optique sont faites dans la bande photométrique G du télescope spatial **Gaia**. La mesure s'exprime en A\_G (mag), et se calcule à partir des mesures en magnitude dans le bleu (BP) et dans le rouge (RP) faites par le satellite, moyennant une certaine calibration photométrique plutôt compliquée.

Pour situer les ordres de grandeur :

- L'unité de magnitude mag : 1 unité correspond à une atténuation d'un facteur 2.5
- 0.1 mag correspond à une perte de 9% du flux : il reste 91 %.
- 0.02 mag : l'étoile est 98 % aussi brillante qu'elle devrait l'être.

La figure suivante illustre ce que transmettrait optiquement chacun des objets décrits précédemment.

Les globules de Bok ne figurent pas dans cette figure, étant largement hors cadre et hors sujet.



Cette analyse montre qu'il n'existe pas d'objets occultant dans une région  $< 10$  parsecs, autre que le LIC. C'est pour cela que la lumière provenant des étoiles voisines, après passage dans un milieu interstellaire comme le LIC, est transmise à bien mieux que 95 %.